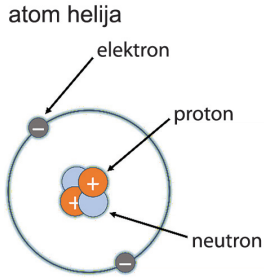
Strateška važnost helija u znanosti i industriji

Jože Luzar[1], *Julia Petrović*[2]

Helij (He), jedan od plemenitih plinova, drugi je najlakši element u periodnom sustavu elemenata. Otkriven je 18. kolovoza 1868. godine tijekom promatranja pomrčine Sunca, po kojem je i dobio naziv (grč. *Helios* = Sunce) [1]. Unatoč tome što je rasprostranjenost helija na Zemlji poprilično mala, u svemiru je, iza vodika, drugi najrasprostranjeniji element. Poput ostalih plemenitih plinova, zbog svoje popunjene vanjske elektronske ljuske, ima stabilnu elektronsku konfiguraciju te ima izrazito malu (gotovo zanemarivu) kemijsku reaktivnost. Njegov udio u cijeloj Zemljinoj atmosferi iznosi 5.24 ppm [2], što nije malen udio ako uzmemo u obzir da se i dalje radi o približno 3.7 milijardi tona. Međutim, zbog svoje male mase lako "bježi u svemir", a metoda odvajanja helija iz atmosfere zahtijevala bi veliki trošak, ekonomski trenutno neodrživ.

Za industrijske potrebe helij se ekstrahira iz Zemlje, gdje nastaje alfa-raspadom radioaktivnih elemenata poput urana (U) i torija (Th). Tijekom alfa-raspada radioaktivna jezgra emitira alfa-česticu, koja je po sastavu ekvivalentna jezgri atoma helija. Nakon emisije, usporavanjem, alfa-čestica "hvata" dva elektrona iz svoje okoline, čime prelazi u energijski stabilnu elektronsku konfiguraciju i postaje helij (slika 1). Sam proces generacije helija iz Zemljine kore je poprilično spor, tako da je njegovo nastajanje u dovoljno velikim količinama rezultat dugačkih geoloških razdoblja. Time se kao nusprodukt, skupa sa zemnim plinom, eksploatira u industrijske svrhe, a najveća ležišta helija nalaze se u SAD-u, Kataru, Alžiru i Rusiji.



Slika 1. Atom helija, dva neutrona, dva protona te dva elektrona.
(Julia Petrović, Institut "Jožef Stefan")

Najpoznatiji eksperiment s helijem je ujedno i najčešći način na koji ljudi pomisle na helij, a to je onaj u kojem osoba uzme balon napunjen helijem, udahne i potom određeno vrijeme govori komično visokim glasom. Glas je zvučni val koji nastaje vibracijom objekta (npr. opne bubnja ili glasnica) u mediju kao što je zrak. Kad udarimo po bubnju, njegova opna se pomiče gore-dolje i time gura molekule zraka ispred sebe prema drugim molekulama. Molekule se komprimiraju, stvarajući područje višeg tlaka koje se širi od bubnja. U međuvremenu, opna bubnja se pomiče prema dolje, a zatim ponovno prema gore, uzrokujući novu kompresiju. Takav slijed kompresija i razrjeđenja molekula u pokretu zovemo zvučnim valom. Sličan princip je i kod glasnica, a konačni zvuk koji čujemo ovisi o frekvenciji vibriranja glasnica i rezonancijama vokalnog trakta (vokalni trakt čine grlo, usta

[1] Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija; e-pošta: jože.luzar@ijs.si
[2] Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija; e-pošta: julia.petrovic@ijs.si

i nosna šupljina), koji imaju ulogu dodatnih rezonatora te određuju boju i kakvoću glasa. Makroskopski gledano, u idealnom plinu pri određenoj temperaturi i tlaku, svi plinovi imaju isti broj molekula po jediničnom volumenu, bez obzira na tip elementa od kojeg je plin sastavljen. Međutim, zbog različitih masa molekula, plinovi imaju proporcionalno različite gustoće. Brzina zvuka u plinu ovisi o njegovim elastičnim svojstvima i gustoći, a za idealne plinove pri istoj temperaturi veća brzina zvuka povezana je s manjom molarnom masom plina. Npr. jedinični volumen dušika (najzastupljenijeg plina u zraku) pri određenoj temperaturi i tlaku ima približno sedam puta veću masu od jediničnog volumena helija. To se posljedično odražava i na brzinu zvučnog vala, gdje je npr. pri 20 °C brzina zvučnog vala koji putuje kroz helij jednaka 927 m/s, dok je za zvučni val koji se širi zrakom jednaka 344 m/s. Upravo veća brzina zvuka u heliju uzrokuje pomicanje rezonantnih frekvencija vokalnog trakta prema višim vrijednostima prilikom prolaska zvučnog vala kroz vokalni trakt napunjen helijem. Zbog toga se mijenjaju rezonancije, pa je glas koji čujemo tanji i piskutaviji od originalnog glasa na koji smo navikli pri prolasku zvučnog vala kroz vokalni trakt napunjen zrakom.

Drugi zanimljiv fenomen je uzdizanje balona napunjenog helijem (slika 2). U usporedbi s balonima napunjenim zrakom, baloni napunjeni helijem se uzdižu te, ako ih ne privežemo za nit, odlete. U ovom slučaju također je niska gustoća helija jedan od razloga, gdje sila uzgona djeluje na balon napunjen helijem prema gore te šalje naš balon u više slojeve atmosfere, zauvijek nas napuštajući. U slučaju da balon napunjen helijem zatočimo u prostoriji iz koje ne može pobjeći, u početku će se zadržavati na stropu, gdje će se tokom nekoliko dana ili tjedana početi polako spuštati prema tlu. Iako balon zamišljamo kao hermetički spremnik, on to nije. Atomi helija su toliko mali da bez problema difundiraju kroz dijelove balona koji se nama čine nepropusnima. Kao rezultat toga, količina helija u balonu se smanjuje, a do trenutka kada dospije na tlo, ostane toliko malo helija u balonu da ukupna sila teže zraka u balonu i samog balona prevlada silu uzgona koja ga je prvotno gurala prema gore.



Slika 2. Ljubičasti balon je napunjen helijem i lebdi, a ružičasti balon je napunjen zrakom i slobodno visi. (Jože Luzar, Institut "Jožef Stefan")

Uporaba helija

Iako smo ovaj članak započeli pregledom nekoliko zabavnih primjena helija, ovaj plin je zapravo važna industrijska sirovina. Koristi se, na primjer, u zavarivanju, pri kojem štiti područje koje varimo od kisika iz zraka i time smanjuje oksidaciju. Nadalje, koristi se u proizvodnji elektroničkih uređaja, prvenstveno za hlađenje i u različitim procesima proizvodnje čipova. Također se koristi za ispitivanje propusnosti visokotlačnih i niskotlačnih sustava, gdje mala veličina molekule helija omogućuje otkrivanje područja curenja plina.

Helij je također od ključne važnosti u medicini. U tekućem obliku koristi se za hlađenje metalnih zavojnica supravodljivih magneta, ključnih za rad s magnetskom rezonancijom (eng. *Magnetic Resonance Imaging*, MRI). Supravodljivost je pojava pri kojoj električna

struja prolazi kroz materijal bez električnog otpora, a za metale se javlja isključivo na ekstremno niskim temperaturama. Tu dolazi važnost helija, koji vrije na 4.2 K ili $-269\,^{\circ}\mathrm{C}$.

Uz navedene primjene vrijedi napomenuti i važnost korištenja helija u svemirskoj industriji, gdje se koristi za raketni pogon i testiranje svemirske opreme. Kao zanimljivost vrijedi još dodati da helij postaje supratekućina pri temperaturi od 2.2 K. Supratekući helij se tako može penjati uz stijenke posude u kojoj se skladišti pri najmanjem pomicanju posude te lako prodire kroz pore ne veće od promjera molekule.

Tekući helij se zbog svoje niske temperature naširoko koristi u istraživanju, osobito za hlađenje supravodljivih magneta i za mjerenje fizikalnih svojstava materijala na niskim temperaturama. Zbog velikih količina helija potrebnih za održavanje mjernih instrumenata hladnim i visoke cijene ukapljenog helija, jedan on načina da se što veća količina helija sačuva je da se helij koji isparava nakon korištenja ne ispušta u atmosferu već reciklira, odnosno prikuplja u plinovitom obliku, pročisti i ponovno pretvori u tekućinu.

Ukapljivanje helija

Jedan od načina recikliranja helija je stvaranje zatvorene petlje za recirkulaciju helija, na koju su preko bakrenih vodova povezani svi mjerni instrumenti koji koriste tekući helij za rad. Na taj način se očuva velika količina helija. Prilikom isparivanja helija iz mjernih instrumenata, helij putuje bakrenim cijevima do uređaja za ukapljivanje helija. Tako se ispareni helij najprije sakuplja u velikom balonu, gdje nakon postizanja određenog tlaka u balonu dolazi do uključivanja kompresora koji komprimira plin iz balona u visokotlačne boce. S obzirom na to da se prilikom korištenja helija nakupe "nečistoće" kao što su voda, dušik i kapljice ulja iz kompresora, te visokotlačne boce sadrže kontaminirani plin koji treba pročistiti prije samog procesa ukapljivanja. Voda se uklanja pomoću plinskog sušila, ulje pomoću separatora ulja na bazi aktivnog ugljena, dok se preostale nečistoće zamrzavaju na izmjenjivačima topline u središnjem dijelu uređaja za ukapljivanje, odnosno u tzv. "hladnoj kutiji" (eng. *cold box*) (slika 3), budući da su njihova ledišta znatno viša od ledišta helija. Nakon pročišćavanja helij je spreman za ukapljivanje, koje se provodi u glavnom dijelu uređaja za ukapljivanje helija.

Proces pretvaranja plinovitog helija u tekući zahtijeva vrlo dobru toplinsku izolaciju, pri čemu se često koristi vakuum kao izolacijski sloj. Bez dobre izolacije bilo bi teško postići potrebne niske temperature, a energijski gubitci bili bi ogromni. Uz to, cijeli uređaj bi se zaledio i pretvorio u jednog velikog "snjegovića". Zbog ekstremno niske temperature vlaga iz zraka bi se zaledila na vanjskoj strani uređaja i time onemogućila rad mehaničkih i elektroničkih komponenti, te bi ukapljivanje bilo onemogućeno.

Plinovi se općenito ukapljuju snižavanjem temperature, povećanjem tlaka ili kombinacijom oboje (ovisi o faznom dijagramu elementa od kojeg je plin sastavljen). Budući da helij ima najniže vrelište od svih elemenata, njegovo ukapljivanje je složenije i zahtjevnije od ukapljivanja drugih plinova. Zbog toga se helij hladi postupno, kroz više faza, pri čemu se u svakoj fazi njegova temperatura dodatno smanjuje prije nego što prijeđe u sljedeću.



Slika 3.“Cold box”, srednji dio uređaja za ukapljivanje helija. (Jože Luzar, Institut “Jožef Stefan”)



Slika 4. Dewarova posuda za skladištenje ukapljenog helija. (Jože Luzar, Institut “Jožef Stefan”)

U početnom dijelu procesa hlađenja se primjenjuje Claudeov ciklus. Nad helijem se vrši rad, plin se komprimira i zagrijava, da bi se potom hladio kroz sustav izmjenjivača topline. Izmjenjivač topline služi za prijenos topline između struja toplijeg i hladnijeg plina. Dodatno snižavanje temperature helija se u ovoj fazi odvija širenjem plina kroz ekspanzijske turbine, gdje pri tom širenju plin obavlja mehanički rad te mu se smanjuju entalpija i temperatura. Kada postigne dovoljno nisku temperaturu, plin prelazi u završni korak hlađenja. Plin potom prolazi kroz Joule-Thomsonov prigušni ventil [3], gdje se pri prigušenju entalpija održava približno konstantnom, a zbog pada tlaka dio helija prelazi u tekuće stanje. Dobiveni tekući helij se potom pohranjuje u Dewarovu posudu (slika 4) [4]. Takva boca djeluje na istom principu kao termos-boca, gdje se između stijenki vanjske i unutarnje posude nalazi vakuum kao izolacijski sloj. Tekući helij se u ovom koraku iz velike Dewarove boce prebacuje u manje Dewarove posude, koje se potom transportiraju u laboratorije i ponovno koriste za mjerenja.

U isključivo istraživačke svrhe u našem podneblju vrijedi istaknuti dva uređaja za ukapljivanje helija koji se nalaze u Zagrebu na Institutu za fiziku i Ljubljani na Institutu “Jožef Stefan”, koja su po principu, zapremnini i djelovanju vrlo slična. To su ujedno i jedini uređaji za ukapljivanje helija u Hrvatskoj, a i u Sloveniji. Takva dva uređaja za ukapljivanje spadaju među manje uređaje, s obzirom na to da se za industrijske svrhe koriste puno veći uređaji za ukapljivanje plina i time omogućuju proizvodnju puno većih količina tekućeg helija. Manji uređaji za ukapljivanje poput ovih za istraživanje imaju mogućnost proizvodnje 20 litara tekućeg helija iz plinovitog u sat vremena bez predhlađenja. Za usporedbu, veći industrijski uređaji mogu proizvoditi stotine litara tekućeg helija na sat, dok najveći industrijski sustavi mogu doseći i više od 1000 litara na sat. S predhlađenjem helija tekućim dušikom, koji kondenzira na temperaturi od 77 K, odnosno $-196\,^{\circ}\mathrm{C}$, kapacitet proizvodnje tekućeg helija po satu može se dodatno povećati. Financijski je to i dalje isplativo s obzirom da je cijena tekućeg dušika višestruko manja od cijene tekućeg helija.

Zaključak

Iako je helij široj javnosti poznat tek kao plin za smiješno pričanje i uveseljavanje djece napuhivanjem balona koji lebde, njegova važnost u realnosti nadilazi puku rekreacijsku upotrebu. Njegova niska gustoća, kemijska inertnost te nisko vrelište čine ga ključnim resursom u brojnim industrijskim, medicinskim i znanstveno-istraživačkim primjenama. Vrijedi skrenuti pozornost i na svakodnevno rastuću cijenu energenata na tržištu, iz koje helij nije izuzet. U samo zadnjih deset godina cijena kupovnog helija narasla je za 700 %.

Zalihe helija na Zemlji su ograničene, skupe i konačne, iako govorimo o drugom najrasprostranjenijem elementu u svemiru. Izuzev otkrića potencijalno efikasnijeg oblika ekstrahiranja helija iz drugih izvora, jedino što nam preostaje je odgovorno i racionalno korištenje zaliha koje trenutno imamo na raspolaganju, izvlačenjem helija iz Zemljine kore. Recikliranje helija i održavanje sustava za njegovo ukapljivanje ključne su kako bismo zalihe što dulje očuvali i time produžili vijek rada mjernih instrumenata koji ovise o tekućem heliju.

Literatura

[1] M. B. S. J. Wheeler, *Helium, The Disappearing Element*, Springer Briefs in Earth Sciences, 2015.

[2] A. N. Cox, *Allen's Astrophysical Quantities*, 4th edition, Springer, 2002.

[3] B. Editors, *Joule-Thomson effect*, Encyclopedia Britannica, [elektronski], dostupno: `https://www.britannica.com/science/Joule-Thomson-effect`

[4] J. Dewar, *Hrvatska Enciklopedija, mrežno izdanje*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, [elektronski], dostupno: `https://enciklopedija.hr/clanak/dewar-james`